

Предложенный регулятор был использован в системе регулирования температуры теплоносителя котельной установки. На рис.2 приведена реакция установки на импульсное возмущающее воздействие. Переменные настройки, обеспечиваемые фазы-составляющими позволили значительно улучшить качество регулирования [2].

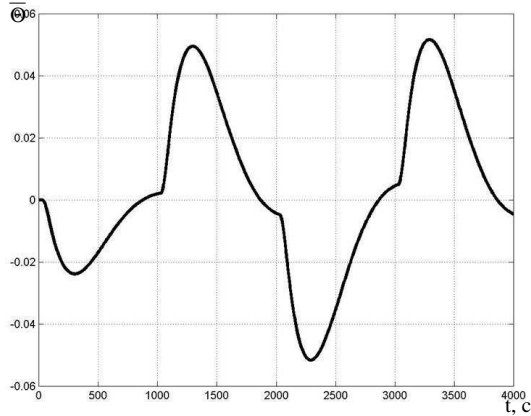


Рис.2 – Реакция теплогенерирующего объекта на импульсное воздействие

Таким образом, показана возможность построения систем с нечеткой динамической коррекцией традиционного ПИД-регулятора. Использование методов нечеткой логики позволило получить качественный переходный процесс без использования вычислительных процедур, характерных для классического метода регулирования.

1.Андрійчук Н.Д., Баранич Ю.В., Подлесная С.В., Адамчо Я.В. Нечеткая логика в системах регулирования теплогенерирующих установок. – Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2004. – 68 с.

2.Андрійчук Н.Д., Соколов В.И., Коваленко А.А., Дядичев К.М. Пути совершенствования систем теплоснабжения. – Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2003. – 244 с.

3.Орлов А.И. Задачи оптимизации и нечеткие переменные. – М.: Знание, 1980. – 63 с.

Получено 02.02.2004

УДК 620.193 / 197

А.С.ДУДОЛАД, В.С.СЕДАК, канд. техн. наук, Л.Н.ПЕЛЬКИНА
ОАО «Харьковгоргаз»

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД В РЕШЕНИИ ВОПРОСОВ ЗАЩИТЫ ГАЗОПРОВОДОВ ОТ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ В УСЛОВИЯХ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ

Освещён комплекс проблем защиты газопроводов от электрохимической коррозии в условиях крупных промышленных городов, включая качество изоляционного покры-

тия, мероприятия по ограничению блуждающих токов, выполнение катодной поляризации газопроводов и высокотехнологическую диагностику коррозионного состояния трубопроводов. Проблема предотвращения коррозии актуальна для обеспечения безопасной и безаварийной работы систем газоснабжения и продления срока службы подземных газопроводов.

Природа металла такова, что для предотвращения его от самопроизвольного разрушения (коррозии) в контакте с электролитической средой необходимо выполнение ряда мер по защите, что требует материальных и энергетических затрат. Затраты на поддержание металла трубы в его промышленно полученном состоянии и препятствие его возврата в природное (стабильное) состояние окислов будут всегда. Наша задача – свести эти затраты к минимально необходимым.

В условиях наличия опасного влияния блуждающих токов, характерных для Харькова и других крупных промышленных городов Украины, необходимо комплексное решение проблемы защиты.

Подземные металлические трубопроводы находятся в контакте с грунтовым электролитом. Предохранить металл трубы от контакта с электролитом призвано изоляционное покрытие с нормативным переходным сопротивлением $R_{пер} \sim (1 \cdot 10^4 \div 1 \cdot 10^5) \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$ [1], значение которого за время эксплуатации постепенно уменьшается. При наличии повреждений изоляционных покрытий и коррозионно-агрессивной среды и (или) источников блуждающих токов возможен процесс электрохимической коррозии металла трубы в местах повреждений изоляции.

Для защиты трубопроводов от почвенной коррозии необходима катодная поляризация металла, которая достигается с помощью устройств катодной защиты. Для защиты трубопроводов от коррозии блуждающими токами также необходима катодная поляризация металла, которая достигается возвратом блуждающих токов на их источник по искусственно созданной дренажной цепи протекания тока и при необходимости дополнительно создается устройствами катодной защиты.

Для того чтобы затраты на защиту трубопроводов были экономически разумными и обоснованными, необходимо постоянно проводить мероприятия по ограничению токов утечки с рельсовой сети электрифицированного транспорта.

Для возможности определения опасного влияния источников блуждающих токов, коррозионного состояния подземного газопровода, определения опытного тока катодной защиты необходима высокотехнологическая диагностическая передвижная лаборатория.

В периодической печати последних лет эти направления освеще-

ны разрозненно: наиболее перспективными декларируются либо проблемы повышения качества изоляционных материалов для металлоконструкций [2], либо контроль качества изоляционных покрытий и эффективности катодной поляризации [3], либо диагностики и мониторинга коррозионного состояния газопроводов [4]. В периодической печати нефтегазового комплекса в последние годы (1999-2003 гг.) отсутствуют публикации по проблеме ограничения блуждающих токов. В данной статье обосновывается необходимость решения комплекса задач для повышения эффективности защиты газопроводов от электрохимической коррозии.

Газопроводы в Украине в основном имеют изоляционные покрытия на основе битумных мастик, которые с течением времени утратили свои диэлектрические свойства и механическую прочность. Для них характерно появление хрупкости, расслоения, микротрещин, механических повреждений, результатом чего и явилось резкое уменьшение значения переходного сопротивления изоляционного покрытия $R_{пер}$.

Чем больше переходное сопротивление защитного покрытия, тем меньше плотности катодного тока необходимо на единицу поверхности трубопровода для создания защитного потенциала. Например, в местах отсутствия блуждающих токов зона защиты газопровода с битумной изоляцией ($R_{пер} \sim 1 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$) после окончания строительства составляет приблизительно 5 км при токе защиты $I_z \sim 5 \text{ А}$. Зона защиты газопровода такого же диаметра, уложенного в такой же грунт, но с сопротивлением битумной изоляции $R_{пер} \sim 5 \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$, составляет примерно 2-3 км при том же токе защиты.

Если отказаться от применения изоляции на основе битумной мастики, а применять в этом качестве напылённый или экструдированный полиэтилен, полимерные термоусадочные липкие ленты с $R_{пер} \sim 1 \cdot 10^5 \div 1 \cdot 10^7 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$ – то энергозатраты на создание катодной поляризации трубопровода значительно снизятся.

Крупные промышленные города имеют разветвленную сеть рельсового электротранспорта и подземных металлических коммуникаций. Токи утечки с рельсовой сети электротранспорта, которые получили название "блуждающих токов", попадают в грунт, встречаются на своём пути металлические коммуникации, удельное сопротивление которых значительно ниже удельного сопротивления земли, и натекают на них (катодная зона на трубопроводе), потом стекают с трубопровода в грунт (анодная зона на трубопроводе, здесь идёт разрушение металла трубы) и через грунт возвращаются на свой источник – тяговую подстанцию (см. рис.1).



Рис.1 Схема возникновения и протекания блуждающих токов:

1 – тяговая подстанция; 2 – контактный провод; 3 – рельсы; 4, 5 – трубопроводы;
6 – места коррозии; I_r – тяговый ток; $I_в$ – ток возврата; $I_б$ – блуждающий ток

Величина блуждающих токов от внешних источников на один - два порядка больше величины токов при почвенной коррозии, поэтому процесс коррозии блуждающими токами подавляет или усиливает процесс, идущий между гальванопарами [5]. Таким образом, в промышленных центрах на поверхности трубопроводов в местах повреждения изоляционного покрытия в основном идёт процесс электрохимической коррозии блуждающими токами. На трубопроводы натекают токи порядка нескольких сотен ампер, поэтому плотность стекающих токов может быть очень большой, и при определённых условиях сквозное коррозионное повреждение возможно уже через несколько месяцев после укладки трубопровода в грунт. Опасность коррозии блуждающими токами намного опасней для газопроводов, чем почвенная коррозия, потому что стекание токов с трубопровода концентрируется на локальных участках в местах повреждения изоляции.

Основными источниками блуждающих токов в городах являются электрифицированные на постоянном токе рельсовые сети трамвая, метрополитена и железной дороги.

Обследование влияния Харьковского метрополитена на коррози-

онное состояние газопроводов показало, что токи утечки с рельсовой сети метрополитена очень незначительны и практически не оказывают существенного вредного влияния на подземные газопроводы. Рельсовые сети железной дороги более ощутимо влияют на коррозионные процессы на газопроводах, но, как правило, отрицательное влияние отмечено вблизи 4-х расположенных в черте города тяговых подстанций ЮЖД.

Основной вклад в разрушение газопроводов вносит городской электротранспорт – трамвай. Практически все газопроводы Харькова находятся в зоне опасного влияния блуждающих токов от рельсовой трамвайной сети, имеющей протяжённость – 248 км. Особо опасными местами являются места расположения 12-ти трамвайных и 35-ти трамвайно-троллейбусных тяговых подстанций и отсасывающих пунктов их отрицательных питающих линий. Усиленному контролю подлежат катодные зоны рельсовых сетей и примыкающие к ним газопроводы.

Нормативной литературой [1] определено опасное действие блуждающих токов, как равное или превышающее 0,04 В абсолютное значение разности потенциалов между наибольшим и наименьшим значением измеренного потенциала газопровода. Изменение потенциала на подземных газопроводах в среднем по г.Харькову составляет от 0,1 В до 1,0 В и до нескольких десятков вольт в отдельных точках измерений. Промышленные дренажные защитные установки, разработанные на максимальные токи дренирования 200-500А, не выдерживают реальных токовых нагрузок, которые достигают порой значений до 1000А в отдельных местах. Очевидно, что без выполнения комплекса мероприятий по ограничению блуждающих токов с рельсовой трамвайной сети мы не добьёмся защиты газопроводов разумными экономическими и энергетическими затратами.

Поскольку рельсы выполняют функции обратного провода электрифицированного транспорта, а утечка части тяговых токов с них определяет значение блуждающих токов в земле, то в плане ограничения блуждающих токов по параметрам рельсовой сети является соблюдение нормативов её продольного сопротивления и переходного сопротивления "рельс - земля". Очевидно, что, чем меньше продольное сопротивление рельсовой сети r_p и чем больше сопротивление изоляции рельс от земли $r_{p-з}$, тем меньше блуждающих токов в земле. Величина тока утечки является критерием технического состояния рельсовой сети. Ток утечки в любой момент времени для равномерно распределённой нагрузки на участке L двухстороннего питания может

быть определён из выражения [6]:

$$I_{\Sigma y} = \frac{2i_n}{\alpha_p} \left[\operatorname{arch} \frac{\sqrt{\operatorname{sh} \frac{2\alpha_p L}{2} - \left(\frac{\alpha_p L}{2} \right)^2}}{\operatorname{sh} \frac{\alpha_p L}{2}} - \frac{\sqrt{\operatorname{sh} \frac{2\alpha_p L}{2} - \left(\frac{\alpha_p L}{2} \right)^2}}{\operatorname{sh} \frac{\alpha_p L}{2}} \right], \quad (1)$$

где $i_n = A/UL$ (A – часовой расход энергии на тягу поездов по выбранному участку; U – напряжение контактной сети);

$\alpha_p = \sqrt{r_p / r_{p-3}}$ – постоянная распространения рельсовой сети.

Тогда при значениях $\alpha_p L \leq 1$:

$$I_{\Sigma y} = i_n L \frac{\alpha_p^2 L^2}{36\sqrt{3}}. \quad (2)$$

Зная r_p , r_{p-3} , I_n , i_n , можно для участка рельсовой сети L рассчитывать токи утечки.

Между интегральным значением тока утечки с рельсовой сети и током, протекающим по подземному трубопроводу существует определённая пропорциональность, которая зависит от места расположения трубопровода по отношению к рельсовой сети, от удельного сопротивления грунтов, от металлоёмкости трубопровода, но наиболее существенным фактором ограничения блуждающих токов, попадающих на трубопровод, является сопротивление его изоляционного покрытия. По сравнению с трубопроводом, имеющим повреждённую или некачественную изоляцию, в хорошо изолированном трубопроводе значение тока уменьшается в сотни раз.

Анализ выражений (1), (2) показывает, что основные возможности уменьшения токов утечки из рельсовой сети в землю заключены в обеспечении наиболее рациональных значений продольного и переходного сопротивлений рельсовой сети. Для обеспечения максимальной продольной проводимости необходимо содержать все стыковые, междерельсовые и обходные соединители в образцовом состоянии и в соответствии с нормативами. Для обеспечения максимально возможного переходного сопротивления "рельс-земля" рельсы должны быть изолированы от контакта с грунтом и иметь надёжный отвод поверх-

ностных и грунтовых вод. Для уменьшения потерь энергии в процессе эксплуатации электротранспортной системы должна проводиться регулировка потенциалов отсасывающих пунктов.

Реальное состояние городского трамвайного транспорта далеко от нормативного: стыковые и межрельсовые соединения (перемычки) местами оборваны, изоляция рельс от земли в основном отсутствует (в центре города рельсы во время дождя утопают в воде, нет отвода поверхностных вод); отсутствует возможность выравнивания потенциалов между пунктами присоединения отрицательных кабелей к рельсовой сети.

Изоляционное покрытие газопровода (пассивная защита) из-за утраты со временем своих диэлектрических свойств и из-за возможных механических повреждений не может обеспечить полную защиту газопроводов от коррозии. Ограничить полностью токи утечки невозможно, они будут всегда, их можно только уменьшить [6].

Для поддержания металла в "возбуждённом" состоянии или, другими словами, для препятствия его "возврата" в состояние окисла, нужно затратить дополнительную энергию. Чтобы прекратить или значительно сократить коррозионные процессы, на подземных трубопроводах устанавливаются специальные защитные устройства, создающие катодную поляризацию металла.

Поскольку процесс электрохимической коррозии происходит при стекании тока с металла в грунт, предотвратить его можно "отводом" тока на его источник питания с помощью дренажного устройства (см. рис.2).

Это наиболее экономичная защита, так как не требует дополнительных энергетических затрат. Возврат тока происходит по более "организованной" цепи протекания, чем цепь коррозионного тока: вместо выхода ионного тока, который сопровождается выносом ионов металла в грунт, по дренажному кабелю потечёт электронный ток, а ионы металла останутся в кристаллической решётке.

К сожалению, современные дренажные установки в условиях опасного влияния блуждающих токов не могут полностью остановить процесс коррозии из-за недостаточного уровня энергии блуждающих токов при малых отрицательных потенциалах на рельсах.

Следующий способ защиты – создание тока встречного направления, который компенсирует стекающий ток. Этот способ защиты требует дополнительных энергетических затрат (источника постоянного тока).

Оба способа могут быть совмещены в виде усиленной дренажной

защиты. Существует ещё протекторные защитные установки, действующие по принципу гальванического элемента, и предназначенные для защиты отсечённых или тупиковых участков подземных газопроводов.



Рис.2 – Схема защиты от коррозии блуждающими токами:

1 – тяговая подстанция; 2 – контактный провод; 3 – рельсы; 4, 5 – трубопроводы;
6 – электродренажная установка; 7 – блок защиты коммуникаций;

I_T – тяговый ток; I_B – ток возврата; $I_б$ – блуждающий ток; $I_{др}$ – ток дренаживания.

Все способы защиты получили название катодной поляризации, так как во всех трёх случаях с помощью внешнего тока происходит смещение потенциала в отрицательную сторону.

Коррозионная диагностика позволяет выявить основной источник блуждающих токов, ответственный за разрушение металла подземного сооружения; прогнозировать развитие коррозионных процессов при отсутствии защитного потенциала, определить ток катодной защиты, необходимый для расчёта остальных параметров защиты; определить уровень защиты газопроводов при наличии защитного потенциала.

Согласно нормативам [1] критерием защиты является наличие защитного потенциала трубопровода в пределах от минус 0,9 В до минус 2,5 В по медносульфатному электроду сравнения. При таких значениях потенциала на трубопровод натекает ток, обеспечивающий необходимую защитную плотность тока, при которой скорость корро-

зии уменьшается до технически допустимой или прекращается вообще [5].

Измерения величин потенциалов подземных сооружений, плотности и направления тока (натекающего на сооружение или стекающего с него) в условиях наличия разветвлённой сети подземных коммуникаций и рельсового электротранспорта возможны при наличии современных приборов с регистрацией записи и компьютерным обеспечением типа ПРИМА и RAMLOG. Поскольку потенциальная и токовая картины газопроводов зависят от нагрузок электротранспорта, которые меняются в течение суток, то и говорить о динамике коррозионных процессов или об уровне защиты газопровода можно только по результатам измерений, выполненных в течение 1 суток.

Причины недостаточно высокого уровня защиты газопроводов крупных промышленных городов в длительном сроке эксплуатации газопроводов, в наличии разветвлённой сети наземного электротранспорта (источников блуждающих токов) и подземных токопроводящих коммуникаций, в истощении ресурса большинства действующих средств защиты, в хищении оборудования по защите.

Решение проблем защиты газопроводов определено в следующих приоритетных направлениях:

- выпуск оборудования по защите с высоким КПД и с автоматическим режимом регулировки;

- увеличение объёмов ремонта и строительства средств защиты;

- усиление контроля технологии укладки подземных газопроводов в грунт и контроля качества изоляционных покрытий;

- отказ от морально устаревших защитных покрытий на основе битумных мастик и применение полимерных липких и термоусадочных лент;

- создание подразделения высокотехнологичной диагностики коррозионного состояния газопроводов;

- проведение совместных мероприятий по ограничению токов утечки с рельсовой трамвайной сети;

- создание автоматизированной системы управления и контроля за работой средств электрохимзащиты;

- внедрение новых технологий санирования газопроводов – укладка и протяжка газопроводов из полиэтиленовых труб; применение технологии санирования трубопроводов “Процесс Феникс” и “U-лайнер” (с применением внутренних лайнеров – тканевых оболочек);
- осуществление инвестиционных проектов и привлечение инвестиций для решения комплекса мероприятий по защите газопроводов.

Большую помощь в решении вопросов защиты для всех коммунальных предприятий-владельцев подземных металлических коммуникаций и сооружений мог бы оказать межведомственный Координационный Совет по вопросам защиты (Антикоррозионный совет) при органах местного самоуправления. Нельзя забывать, что коммунальное хозяйство было создано государством и до сих пор в основном все коммуникации, в том числе и газопроводы, являются государственной собственностью. Именно независимые вневедомственные Антикоррозионные советы призваны координировать действия разрозненных предприятий-владельцев подземных коммуникаций и предприятий-владельцев рельсового электротранспорта в деле сохранения металлофонда страны.

Обеспечение безопасного и безаварийного газоснабжения потребителей во многом зависит от высокого уровня защиты газопроводов. Обеспечить необходимый уровень защиты и поддерживать его постоянно разумными затратами можно, только решив проблему защиты в комплексе.

Ресурсы энергосбережения сосредоточены в применении изоляционных покрытий на основе термоусадочных липких лент, в наведении порядка на источниках блуждающих токов и приведении его параметров к нормативным значениям, в применении высокоэффективного автоматизированного электрооборудования по защите, в высокотехнологичной и своевременной диагностике коррозионного состояния газопроводов.

1.ГОСТ 9.602-89*. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. Введено с 01.01.91. Срок действия до 01.01.96. Группа Т96. Изменение № 1. Введено с 01.07.95. Без срока ограничения. Межгосударственные стандарты. Указатель.

2. Мурадов А.В. Защита от коррозии объектов нефтегазового комплекса // Газовая промышленность. – 2002. – №2. – С.67-69.

3.Будзуляк Б.В., Тычкин И.А., Ремизов В.В., Тухбатуллин Ф.Г., Петров Н.А.. Эффективная защита объектов от коррозии // Газовая промышленность. – 2002. – №1. – С.66-69.

4.Беккер М. В., Шишківський В. А., Гужов Ю. П., Кацан І. П., Гаврильцев В.Б. Протикорозійний захист об'єктів газотранспортної системи ДК "Укртрансгаз: проблеми та програма розвитку // Нефть і газ. – 2002. – №5 (41). – С.36-39.

5.Стрижевский И. В., Зиневич А. М., Никольский К. К. и др. Защита металлических сооружений от подземной коррозии: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: : Недра, 1981. – 293 с.

6.Котельников А. В. Блуждающие токи электрифицированного транспорта. – М.: Транспорт, 1986. – 275 с.

Получено 17.02.2004